

日本特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

16869P-041600
9-17-02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2001年 7月27日

出願番号
Application Number:

特願2001-226984

出願人
Applicant(s):

株式会社日立製作所

J1050 U.S. PRO
10/1082520
02/22/02

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造
吉野文庫記

2001年 9月17日

出証番号 出証特2001-3085519

【書類名】 特許願

【整理番号】 D01002191A

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/304

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立
製作所生産技術研究所内

【氏名】 野本 峰生

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立
製作所生産技術研究所内

【氏名】 廣瀬 文師

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立
製作所生産技術研究所内

【氏名】 斎藤 啓谷

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100075096

【弁理士】

【氏名又は名称】 作田 康夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013088

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1
【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 薄膜の膜厚計測方法及びその装置並びにそれを用いたデバイスの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】

研磨中の光学的に透明な薄膜を形成した試料表面に白色光を照射し、該白色光の照射により該試料から発生する反射光を検出し、該検出した反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜の膜厚を求める方法であって、予め計測した膜厚分布に基づいて決定した面積からの反射光を検出し、該検出した反射光の分光波形に基づいて、透明な膜の膜厚を求ることを特徴とする薄膜の膜厚計測方法。

【請求項2】

研磨中の光学的に透明な薄膜を形成した試料表面に白色光を照射し、該白色光の照射により該前記試料から発生する反射光を検出し、該検出した反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜の膜厚を求める方法であって、前記試料から発生する反射光の分光波形の特徴量に基づいた所望の位置の反射光の分光波形に基づいて薄膜を計測することを特徴とする薄膜の膜厚計測方法。

【請求項3】

研磨中の光学的に透明な薄膜を形成した試料表面に白色光を照射し、該白色光の照射により該前記試料から発生する反射光を検出し、該検出した反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜の膜厚を求める方法であって、前記試料から発生する反射光を時分割して検出し、時分割して検出したそれぞれの分光波形の特徴量に基づいた所望の位置の分光波形に基づいて薄膜を計測することを特徴とする薄膜の膜厚計測方法。

【請求項4】

該検出した反射光の特徴量が該検出した反射光の分光波形の反射光強度に基づくことを特徴とする請求項2、3記載の膜厚計測方法。

【請求項5】

該検出した反射光の特徴量が該検出した反射光の分光波形の周波数スペクトル

強度に基づくことを特徴とする請求項2、3記載の膜厚計測方法。

【請求項6】

該検出した反射光の特徴量が予め計測した膜厚分布に基づく分光波形の類似性であることを特徴とする請求項2、3記載の膜厚計測方法。

【請求項7】

研磨中の光学的に透明な薄膜を形成した試料表面に白色光を照射し、該白色光の照射により該試料から発生する反射光を検出し、該検出した反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜の膜厚を求める方法であって、予め計測した該試料と同じ工程の膜厚分布に基づいて決定した面積からの反射光を検出し、該検出した反射光の分光波形の特徴量に基づいた所望の位置の反射光の分光波形に基づいて、薄膜を計測することを特徴とする薄膜の膜厚計測方法。

【請求項8】

研磨中の光学的に透明な薄膜を形成した試料表面に光学的に透明な流体を供給しながら白色光を照射し、該白色光の照射により該前記試料から発生する反射光を検出し、該検出した反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜の膜厚を求めるなどを特徴とする薄膜の膜厚計測方法。

【請求項9】

研磨中の光学的に透明な薄膜を形成した試料表面に白色光を照射し、該白色光の照射により該前記試料から発生する反射光を検出し、該検出した反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜の膜厚を求める方法において、研磨液の屈折率と同等な屈折率の光学ガラスを介在して、該前記試料から発生する反射光を検出し、該検出した反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜の膜厚を求めるなどを特徴とする薄膜の膜厚計測方法。

【請求項10】

研磨中の光学的に透明な薄膜を形成した試料表面に白色光を照射する手段と、該照射手段により照射されて前記試料から発生する反射光を検出する検出手段と、該検出手段により検出した反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜の膜厚を求める手段と、予め計測した膜厚分布に基づいて計測面積を決定する手段と、該計測面積から発生する反射光の分光波形に基づいて透明な膜の膜厚を算

出する手段とを備えたことを特徴とする薄膜の膜厚計測装置。

【請求項11】

研磨中の光学的に透明な薄膜を形成した試料表面に白色光を照射する手段と、該照射手段により照射されて前記試料から発生する反射光を検出する検出手段と、該検出手段により検出した反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜の膜厚を求める手段と、前記試料から発生する反射光の分光波形の特徴量を抽出する手段と、該特徴量に基づいて所望の位置の透明な膜の膜厚を算出する手段とを備えたことを特徴とする薄膜の膜厚計測装置。

【請求項12】

研磨中の光学的に透明な薄膜を形成した試料表面に白色光を照射する手段と、該照射手段により照射されて前記試料から発生する反射光を検出する検出手段と、該検出手段により検出した反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜の膜厚を求める手段と、前記試料から発生する反射光を時分割して検出する手段と、該時分割して検出した反射光の複数の分光波形の特徴量を抽出する手段と、該特徴量に基づいて所望の位置の透明な膜の膜厚を算出する手段とを備えたことを特徴とする薄膜の膜厚計測装置。

【請求項13】

薄膜デバイスの表面に形成した光学的に透明な膜を研磨する工程において、前記光学的に透明な膜に白色光を照射し、該白色光の照射により前記薄膜デバイスから発生する反射光を、予め計測した前記薄膜デバイスと同じ工程の薄膜デバイスの膜厚分布に基づいて決定した面積からの反射光を検出し、該検出した反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜厚を求める特徴とする薄膜デバイスの製造方法。

【請求項14】

薄膜デバイスの表面に形成した光学的に透明な膜を研磨する工程において、前記光学的に透明な膜に白色光を照射し、該白色光の照射により前記薄膜デバイスから発生する反射光を、検出し、前記薄膜デバイスから発生する反射光の分光波形の特徴量に基づいた所望の位置の反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜厚を求める特徴とする薄膜デバイスの製造方法。

【請求項15】

薄膜デバイスの表面に形成した光学的に透明な膜を研磨する工程において、前記光学的に透明な膜に白色光を照射し、該白色光の照射により前記薄膜デバイスから発生する反射光を、検出し、前記薄膜デバイスから発生する反射光を時分割して検出し、時分割して検出したそれぞれの分光波形の特徴量に基づいた所望の位置の反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜厚を求めるこことを特徴とする薄膜デバイスの製造方法。

【請求項16】

薄膜デバイスの表面に形成した光学的に透明な膜を研磨する工程において、前記光学的に透明な膜に白色光を照射し、該白色光の照射により前記薄膜デバイスから発生する反射光を、検出し、前記薄膜デバイスから発生する反射光を時分割して検出し、時分割して検出したそれぞれの分光波形の特徴量に基づいた所望の位置の反射光の分光波形に基づいて前記光学的に透明な膜厚を求めるこことを特徴とする薄膜デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は透明な膜の厚さおよび厚さ分布の計測および膜厚を管理して、半導体デバイスを製造する方法に関し、例えばシリコンウェハ上に半導体デバイスを製造する製造ラインで、成膜後表面の平坦化処理工程において、ウェハの最表面膜厚を計測する方法、および膜厚を計測することにより、平坦化処理工程を管理して半導体デバイスを製造する。透明膜の例としては、上記の他DVD、TFT、LSIレチカル等の薄膜デバイスの製造工程におけるレジスト膜や絶縁膜等も含まれる。

【0002】

【従来の技術】

例えば、半導体デバイスは成膜、露光およびエッチングにより、デバイスおよび配線パターンをシリコンウェーハ上に形成することにより製造される。近年、高精度化・高密度化を実現するために微細化・多層化の方向に進んでいる。このことによってウェーハ表面の凹凸が増大している。このようなウェーハ上の凹凸

は配線等の形成に不可欠な露光を困難とするため、ウエーハ表面の平坦化が行われる。

【0003】

この平坦化プロセスとして、化学的および物理的作用により表面を研磨して平坦化を実現する方法 (CMP: Chemical Mechanical Polishing) が用いられる。CMPは当該技術分野において既知の加工方法である。

【0004】

CMP加工において重要な課題として、膜厚管理が挙げられる。特にCMP加工中の膜厚を計測して *in-situ* 計測システムを CMP 加工システムに組み込んで、所定の膜厚に加工された時点で加工を終了して高精度な平坦性と膜厚ばらつきを低減することが必要である。このため、*in-situ* 計測技術として種々の方法が提案されている。

特開平6-252113号公報や特開平9-7985号公報では、実際のデバイスパターン（実際の製品の微細な回路パターン）上の膜厚の計測が可能な *in-situ* 計測システムの開示がなされている。特開平6-252113号公報では実際のデバイスパターン上の膜厚計測に白色光の膜による干渉光の分光分布を周波数解析し、分光分布波形の持つ周波数成分と膜厚との関係に着目し膜厚の絶対値を算出する。一方、特開平10-83977号公報ではレーザー（単波長）光の透明膜による干渉光強度の加工時間による変化を検出し、その波形の持つ周波数成分から膜厚の算出を行うものである。

【0005】

また、特開平10-294297号公報や特開2000-77371号公報には計測位置を特定して *in-situ* 計測する技術が開示されている。特開平10-294297号公報は回路パターンの画像の特徴を抽出又は回折格子をパターンのスクライブエリアに形成して計測位置を特定している。特開2000-77371号公報では分光波形の極大値や極小値に着目して、既測定した分光波形の極大値、極小値と比較処理等から計測位置を特定して加工中の膜厚を計測するものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

一般にCMPの加工時間による膜厚管理では、単位時間あたりの研磨量（研磨レート）が変動すること、ウエーハ上に形成されたパターンの平面内にしめる割合（以降、パターン面積率）によって研磨レートが異なること等のため、精度の高い膜厚管理が困難であった。図17は発明者らが特開2000-310512号公報で開示した技術を用いて、計測した半導体デバイスの膜厚分布計測結果である。図17はCMP加工後のウエハの約Φ20mmの面積での透明膜（層間絶縁膜）の膜厚分布計測結果160である。図17は配線パターン部161、162、周辺回路部163、周辺回路部と配線パターン部の境界部164、165の膜厚分布を示している。膜厚分布計測結果160からも分かるように、周辺回路部と配線パターン部の境界部164、165では約Φ2mm程度の領域で数100nmの膜厚変化が生じている。一方、配線パターン部161、162や周辺回路部163では、数mmの領域で比較的平坦な膜厚である。

【0007】

この膜厚分布はパターン面積率や加工装置の研磨用パッドの種類、研磨液（スラリー）の種類などの加工条件に起因して生じるため、半導体回路パターンの種類や加工条件（研磨パッドの消耗状態やスラリー濃度）によって異なり、製品毎あるいはウエハ1枚の枚葉毎に変化する。上述したようにCMP加工中のin-situ計測では計測する視野領域によっては、膜厚が大きく変化している領域を計測する事になり計測精度が低下する問題が生じる。また、計測位置を特定する方法として、特開平10-294297号公報や特開2000-77371号公報で開示されているが、これらの公報においても計測視野が着目されず比較的大きい領域（約Φ2mm程度）で計測視野を決定しているため、図17に示すような膜厚分布の状態を計測する場合には計測精度が低下するおそれがある。すなわち、分光波形が下地の配線状態や膜厚が異なる広いエリアからの情報が含まれた波形データとなり、所望の計測位置を特定する事が困難である。このため、CMP加工工程で、所定の膜厚に加工された時点で加工を終了して高精度な平坦性と膜厚ばらつきを低減することができず、高精度な膜厚管理をする事が困難であり、半導体デバイスの歩留まりが低下する問題があった。また、従来からCMP加

工工程ではスラリーを研磨液として使用している。

【0008】

特開平10-83977号公報でも開示されているが、ポリッシングパッドへ透明窓を形成してスラリー中のウエハ表面からの分光波形を抽出してin-situ計測を行っている。スラリーはシリカや水酸化カリウムなどの粒子を含んだ研磨液であるため、光学的に半透明であり透過率が小さい。また、使用中に透明窓が研磨液に含まれている粒子によって加工されすりガラス状の凹凸が生じて、ウエハ表面からの分光反射率が著しく低下し、分光計測が安定に出来ず、CMP加工工程で、所定の膜厚に加工された時点で加工を終了して高精度な膜厚管理が困難になる問題もあった。

【0009】

本発明の目的は、透明な膜の膜厚を、CMP加工で生じるLSI領域の膜厚分布の影響を受けることなく、CMP加工中に高精度に計測できる方法及びその装置並びにそれを用いた薄膜デバイスの製造方法及びその製造装置を提供することを目的とする。

【0010】

また、本発明の目的は、透明な膜の膜厚を、CMP加工で生じるウエハ面内の膜厚分布の影響を受けることなく、CMP加工中に高精度に計測できる方法及びその装置並びにそれを用いた薄膜デバイスの製造方法及びその製造装置を提供することを目的とする。

【0011】

また、本発明の目的は、透明な膜の膜厚を、CMP加工で生じるLSI領域の膜厚分布やウエハ面内の膜厚分布の影響を受けることなく、CMP加工中に所望の計測視野で高精度に計測できる方法及びその装置並びにそれを用いた薄膜デバイスの製造方法及びその製造装置を提供することを目的とする。

また、本発明の目的は、透明な膜の膜厚を、CMP加工で生じるLSI領域の膜厚分布やウエハ面内の膜厚分布の影響を受けることなく、CMP加工中に所望の計測位置を特定して高精度に計測できる方法及びその装置並びにそれを用いた薄膜デバイスの製造方法及びその製造装置を提供することを目的とする。

【0012】

また、本発明の目的は、透明な膜の膜厚を、CMP加工で生じるLSI領域の膜厚分布やウエハ面内での膜厚分布の影響を受けることなく、CMP加工中に所望の計測視野および所望の計測位置を特定して高精度に計測した膜厚計測結果を、CMP加工工程後の製造工程（エッティングや成膜等）のプロセス条件に用いて高精度な薄膜デバイスの製造方法及びその製造装置を提供することを目的とする。

【0013】

また、本発明の目的は、透明な膜の膜厚を、CMP加工で生じるスラリの分光透過特性の低下の影響を受けることなく、CMP加工中にS/Nの高い分光波形を抽出して高精度に計測できる方法及びその装置並びにそれを用いた薄膜デバイスの製造方法及びその製造装置を提供することを目的とする。

【0014】

本発明は、透明な膜の膜厚を、CMP加工で生じるLSI領域の膜厚分布の影響を受けることなく、CMP加工中に例えば実際のデバイスパターン上で土数10nm以下の精度で計測できる方法及びその装置並びにそれを用いた薄膜デバイスの製造方法及びその製造装置を提供することを目的とする。その一例として特開2000-310512号公報に開示されているような計測技術を用いて、CMP加工後に実際のデバイスパターン上の最表面膜厚の計測を行い、LSI領域での膜厚分布を抽出し、該膜厚分布の結果を基に計測視野および計測位置を決定して、CMP加工中のデバイスパターンからの所望の計測視野、計測位置からの分光波形を抽出して、CMP加工中の最表面膜厚の計測を高精度に行うことにより高精度の膜厚管理を可能とする方法および装置、およびプロセスのスループットの向上を実現する方法および装置を提供することを目的としている。

【0015】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために本発明では、CMP加工中の透明な膜の膜厚を計測する視野および計測位置は、CMP加工された実際のデバイスパターンのLSI領域での膜厚分布の計測結果を基に決定する。実際のデバイスパターンを計測す

る技術は、発明者達が開発した特開2000-310512号公報で開示されているような膜厚計測方法（以下実パターン膜厚計測方法と表現する）を用いて、デバイスパターンの膜厚分布を計測し、計測結果を基に所望の計測視野を決定する。図17の計測結果例から、計測視野を $\phi 50 \sim 100 \mu m$ 程度にして、膜厚が急峻な変化（1mm程度で数100nmの厚み変化）をしても高精度な計測精度を確保できる視野にすることが望ましい。

また、膜厚分布がLSI領域で平坦な場合は、計測視野を数mmに大きくしても良い。

【0016】

計測位置については、図17で示した比較的平坦な領域161、162の膜厚を計測する事が高精度計測を実現するのに望ましい。領域161や162は配線回路パターン部であり、透明膜下部の下地の配線パターン密度が数10%程度であり安定しているため、CMP加工においても平坦性が良い領域である。また、半導体の製造プロセスにおいても、コンタクトホール等を形成して層間接続する配線形成領域であり、エッチング条件等決定するためにも、配線回路形成領域の膜厚を管理する事が望ましい。本発明における計測位置の決定は

- (1) 分光反射光の強度差を抽出する。
- (2) 分光反射光の周波数スペクトル強度を抽出する。
- (3) 実パターン膜厚計測方法で計測した分光波形と比較する。

等のいずれか一つ以上の手段を用いて行う。

【0017】

この方法によれば、配線形成領域に限らず、LSIの周辺回路部やスクライブエリヤ等の場所からの分光波形の特徴量から、計測位置を選択してそれぞれの位置での膜厚を管理することが出来る。

【0018】

上記は半導体ウェハに形成されたLSI領域（チップ領域と表現する）での計測視野、計測位置の決定について述べたが、ウェハ面内での膜厚管理を行うことも出来る。CMP加工ではウェハを回転運動と揺動運動しながら加工する。本発明では、ウェハのオリエンテーションフラット位置やノッチ位置を、ウェハホル

ダに概略位置決めした状態で保持し、ウエハホルダからのウエハのオリエンテーションフラット位置やノッチ位置指示情報に基づき、CMP加工中のin-situ膜厚計測系の計測位置がウエハの中心部か周辺部か等を判断して、計測して計測結果を出力するようにした。

【0019】

また、本発明では、光学的に不透明なスラリーを介在してウエハ表面の分光波形を高S/Nで計測するため、分光波形計測窓の近傍では純水等の光学的に透明な液体を供給してスラリーを希釈して分光計測できるようにしている。また、分光波形計測窓に用いる透明窓の材料はスラリーの分光屈折率に近い材料を用いて、スラリーと透明窓の界面での屈折率の違いによる反射率の増加（分光透過率を向上）を低減している。このためCMP加工中でも高S/Nの分光波形を抽出して膜厚管理の精度が向上する。

【0020】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態例として、半導体デバイスの製造におけるCMP工程を対象とし、その加工中のウェハ表面に形成された透明な膜の膜厚を、CMP加工中に例えば実際のデバイスパターン上で数10nm以内の精度で計測する方法に適用した例を示す。

【0021】

図1は、本発明の膜厚管理方法をCMP加工装置に適用した一実施例である。CMP加工装置は研磨盤1上に研磨パッド2が形成され、ホルダ3に被加工物のウエハ4が保持されている。また、研磨パッド2上にはパッド表面の目立てをするドレッサ5により定期的にパッドの目立てを行い加工レートを一定に保つようにしている。研磨用の塗料が混入された液状のスラリ6が研磨パッド上に供給される構造になっている。CMP加工中の膜厚を計測するため、計測光学系7が研磨盤1の下方から、研磨パッド2に設けられた計測窓8から、ウエハ表面の分光波形を計測出来るように構成されている。計測した分光波形は膜厚計測コントローラ9で膜厚を算出する。膜厚計測コントローラ9には、実パターン膜厚計測装置10からの情報が得られるように実パターン膜厚計測装置10に接続されてい

る。実パターン膜厚計測装置10は、特開2000-310512号公報に開示されているような計測方式により、予めウエハ4と同品種の工程のウエハの膜厚分布を計測しており、この膜厚分布計測結果に基づき、計測条件コントローラ11で計測光学系7で用いる計測視野やそれぞれの計測位置での膜厚に対応する分光波形を選定し膜厚計測コントローラ9に入力する。

【0022】

ウエハ4は、研磨盤1を矢印A方向に回転運動し、ホルダ3は矢印B方向の回転運動と矢印C方向へ揺動運動させながらウエハ4の全面を加工すると共に、ドレッサ5も定期的に矢印D方向の回転運動と矢印E方向へ揺動運動しながらパッド2の目たてを行う。上記構成において、研磨盤1が回転すると計測窓8に組み込まれれているウインドウガラス81は研磨盤1が一回転毎に計測光学系7の計測光路120上を通過し、ウエハ4の分光波形を計測光学系7で検出し、検出された分光波形は膜厚計測コントローラ9に入力され、所望の計測位置での膜厚を算出する。

【0023】

図2は、図1の計測光学系7と膜厚計測コントローラ9の詳細な一実施例を示すものである。計測光学系7は検出レンズ71、照明光源72、ハーフミラー73、空間フィルタ74、結像レンズ75、視野絞りユニット76、視野絞り761、視野絞り762、分光器77からなる。計測光学系7では、照明光源に白色照明光（波長300nm～800nm程度）をハーフミラー73で検出レンズ71、ウインドウガラス81を介して加工中のウエハ4に照明する。ウエハ4からの反射光を空間フィルタ74、結像レンズ75、視野絞り761を介して分光器77に導き分光する。分光された波形信号を、膜厚計測コントローラ9で計測し、分光波形91を後述するスラリーによる波形歪みの影響を除く波形補正処理92を行う。波形補正された分光波形から特開2000-310512号公報に開示されている、周波数・位相解析計測方式あるいはパターン構造フィティング計測方式により、加工中のデバイスパターン上の膜厚算出94を行い、所定の膜厚に加工された時点で加工を終了する。また、計測条件コントローラ11では実パターン膜厚計測装置10からの膜厚分布に基づく計測視野情報や分光波形データ

を、膜厚コントローラ9に入力する。

【0024】

膜厚コントローラ9では検出した分光波形91について膜厚計測データとして適用するか否かを判定し、計測に必要な分光波形を選択し膜厚算出に用いる。計測視野は膜厚計測開始前にパラメータとして設定し、計測光学系7の絞りユニット76を切り替えて視野絞り径を決定して所望の計測視野を決定する。計測光学系7の空間フィルタ74は配線パターンのエッジからの散乱光や検出レンズのN.Aに起因する高次の回折光を除去する事が出来るため、回折光が分光波形に大きな歪みを生じる場合など波形歪みを低減する効果があり、分光波形のS/N向上に効果がある。

【0025】

図3は、本実施例の計測視野を説明する図である。図3に示すウインドウガラス81を10~50mm、計測視野763を検出視野が ϕ 50~100 μ mにして、光学系倍率を考慮して視野サイズを決定して分光波形を計測する実施例を示す概略図である。研磨盤1の1回転に対して、ウインドウガラス81からウエハ4の複数箇所の分光波形データを検出する。図3の実施例では4回分光データを抽出する状態が記載されているが、計測箇所が多いほど高精度な膜厚評価が可能である。実際にはCMP加工機の研磨盤1の回転数と計測窓の大きさ、分光機のサンプリング速度、照明系の光量、ウエハからの反射光等から計測サンプリング数が決定される。図3で示した例では、研磨盤1の直径D ϕ 250mm、回転数100r.p.m、分光器77のサンプリングを速度1mm/sとすると、 ϕ 50 μ m \times 0.4mmの幅の面積を計測する事になる。ウインドウガラス81の大きさを直径10mmにしても、10回の計測が可能になる。すなわち研磨盤1回転でウエハ4の10カ所の分光データから必要な分光波形を選択して膜厚コントローラ9に入力して膜厚算出を行う。

【0026】

次に図4~図7を用いて本発明を更に具体的に説明する。

【0027】

図4は、LSI回路(1チップ)の一例である。LSI回路40には配線回路

パターン部41が中心部に形成され、一部はメモリ回路部42で規則正しい配線が形成され、配線回路パターン部41の周辺に周辺回路パターン部43が形成されている。図5は図4の部分的な拡大図で、計測視野 $\phi 100 \mu\text{m}$ で計測する場合のそれぞれの配線部と視野の関係を示している。図5(a)に配線回路パターン部410、(b)に周辺回路パターン部430を示す。

【0028】

配線パターン411は最近のLSIでは数 $\mu\text{m} \sim 0.1 \mu\text{m}$ の幅で形成され、計測視野412を $\phi 100 \mu\text{m}$ とすると、計測視野412内でパターンが占める面積率は数10%である。一方、周辺回路パターン431や433は数 $10 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ の幅で形成され、計測視野432を $\phi 100 \mu\text{m}$ とすると、計測視野412内でパターンが占める面積率は50%~100%である。

【0029】

図6は、図5で示した計測視野領域での分光反射特性を示す。分光波形61は図5の計測視野412、分光波形62は図5の計測視野434、分光波形63は図5の計測視野432の位置で計測した場合の波形である。

【0030】

図7は、図5で示した計測視野領域の周波数スペクトル特性を示している。すなわち分光反射特性から下地パターン部の計測視野に対する面積率に応じて分光反射特性が異なることが分かる。計測視野に占める下地パターンの面積の比率が大きいと分光反射率は大きくなり、面積が小さいと反射率が小さくなる。特に波長が長い長波長領域にこの傾向が著しい。図7は図4で示した計測視野領域の周波数スペクトル特性を示している。図7の(a)は配線回路部、(b)はメモリ回路部、(c)は周辺回路部の周波数スペクトル特性である。計測視野に占める配線パターンの形状に応じてスペクトル特性が異なるため、分光波形の周波数スペクトルからも計測位置を特定出来ることが分かる。

【0031】

また、図6、図7に示した分光波形の特徴はそれぞれの配線部で再現性があるため、図2で示した実パターン膜厚計測装置10の分光波形データを基にして、同様の分光波形や反射率、あるいは周波数スペクトル等を比較評価する事により

、計測位置を特定できる。

【0032】

図8は、半導体ウエハの模式図を示す。図9は、図8の中心チップ82と周辺チップ83の膜厚分布を実パターン膜厚計測装置10で計測した膜厚分布計測結果の一例である。図8の中心チップの計測結果は中部がやや暑く周辺部が薄く分布している。図9の(a)は(b)に比べて全体が平坦である。図9(b)のチップ最周辺95は膜厚が著しく薄くなっている。チップの最外周96にはパターンが形成されないため、CMP加工工程では加工レートが大きくなり薄くなると考えられる。

【0033】

図8で示した実施例ではチップのほぼ中心領域92、93を、CMP加工中に計測位置として特定出来れば、ウエハ全面での膜厚の状態を高精度に管理できる。すなわち図5で示した比較的平坦に加工されやすい配線回路パターン部412を特定して、ウエハ面内の各チップ毎に膜厚を計測する事により、ウエハ全面のチップについてより高精度な膜厚管理が可能となる。本発明におけるウエハ面内の膜厚分布の計測は、図16で示した膜厚変動の大きい周辺回路パターン部部と配線回路パターン部の境界部や、膜厚変動の大きい外周回路部よりも、比較的平坦配線回路部あるいは周辺回路パターン部のどちらかを特定して計測できる効果がある。

【0034】

また図6の分光波形はスラリー6が介在しているため分光波形が理想的な正弦波状でなく、歪んだ波形になっている。波形の歪みは、パターン上の透明膜とスラリーの屈折率差が透明膜と空気等より小さいため、透明膜下部の下地パターンの反射強度が影響していると考えられる。図6では波形の歪みとして曲線600が中心トレンド成分として存在している。

【0035】

図10は、図6の分光波形のトレンドを除去するため、それぞれの波形の包絡線から中心成分を波形歪み係数として、図6の分光波形に加算及び乗算して抽出した補正波形である。図10では分光波形91が図6の分光波形61、分光波形

92が図6の分光波形62、分光波形93が図6の分光波形63に該当している。トレンド除去には特開2000-310512号公報で開示した手法等を用いても良く、このように分光波形を補正した波形から膜厚を算出する事で高精度な膜厚算出が出来る。

【0036】

図11は、ウエハ表面の分光波形を高S/Nで計測するための説明図である。

【0037】

図11では、図2の実施例のウインドウガラス81にスラリーの屈折率に近い光学材料、例えば、屈折率がほぼ1.4程度の弗化リチウム(MgF2)や弗化マグネシウム(MgF2)等のウインドウガラス101を用いる。ウインドウガラス101とスラリー102の屈折率がほぼ同等であるため、それぞれの界面での反射率成分が低下し、分光器77で受光する反射光強度が増加して分光反射光のS/Nが向上する効果がある。また、ウインドウガラス101近傍のスラリー102付近に純水タンク103から配管104を経由して局部的に純水を供給するとスラリー102が局部的に希釈され、研磨材などで白濁色のスラリー溶液が光学的に透明になる。光学的に透明な水溶液を介して、ウエハ表面の反射光を検出すると、図6で示した分光波形の反射率が向上すると共に、スラリー中の研磨材からの散乱等による波形歪みも低減され、より正弦波に近い分光波形となり、膜厚算出の精度が向上する効果もある。スラリーを光学的に透明にする液体であれば、供給する液体は純水に限定するものではない。

【0038】

図12、図13は、ウエハ全面の膜厚分布を、CMP加工工程で計測してウエハ面内の膜厚分布を管理する方法を説明する図である。

【0039】

図12、図13において、図2と同じ構成及び動作については説明を省略する。図12には新たに、ホルダ113に位置センサ111と回転角検出器112を設け、それぞれの位置と角度の情報を検出して計測位置を算出する、ウエハ位置コントローラ121を設けた。また、研磨盤の計測窓81の位置を検出するため、計測光学系7の光軸120の近傍にセンサ124を設けている。

【0040】

図12 (a) は、ウエハ4とホルダ113の位置合わせ方法を示す図である。ウエハ4を保持して回転可能なウエハホルダ114、ウエハ4のノッチを検出するノッチセンサ115、から成るプリアライメント部117がホルダ113の下方に配されている。上記構成において、プリアライメント部117のウエハホルダ114を回転して、ノッチセンサ115でウエハのノッチ116を検出して、ウエハホルダ113を停止する。次にノッチ116と相対関係を保つようにホルダ113の位置センサ111が例えばノッチ134の直上に配するようにして、ホルダ113の保持面113aにウエハ4を載置する。ホルダ113の保持面113aに保持されたウエハ4はCMP加工機の研磨盤1上に移動しウエハ4の研磨平坦化を開始する。図12 (b) はCMP加工機の正面からの概略図、(c) は平面図の一部を示す。

【0041】

図12において、ウエハ4の外形L1、研磨盤1の中心と計測光学系7の計測光軸120の間隔L2、研磨盤1の中心とホルダ113の間隔L3は一定値である。ホルダ113は揺動運動するため、基準中心からの揺動量L4を揺動センサ118で検出する。この状態でホルダ113の回転検出器112の角度位置をリセットしてCMP加工を開始する。センサ124が計測開始ドグ123を検出して計測開始の信号をウエハ位置コントローラー124で検出すると、計測開始位置111aでのウエハ4の中心から計測光軸120の距離L2-L4 (ウエハ径L1と検出したノッチ116と相対関係にある計測開始ドグ124から、ウエハ中心から計測中心120の位置関係を演算して求める) とウエハ4の回転角θが定まり、研磨盤1が回転する毎に、計測光学系7で計測された分光波形に基づく膜厚に対するウエハの計測位置が特定される。

【0042】

このため、図9で示したウエハ面内の中心や周辺のどのチップを計測しているかが判別できる。例えばウエハの相間絶縁膜のSiO₂をCMP工程でφ200mmウエハを加工する場合、研磨盤1回転 (約100 rpm) で数nm程加工され、1分間に約200nm程加工される。本実施例の膜厚計測精度は、数10nm

の膜厚変化を計測する事が可能であるため、研磨盤1回転毎に計測場所を特定して残膜厚を算出して表示することもできる。

【0043】

図14、図15は、残膜厚の計測表示状態を示すものである。図14はチップ毎の残膜厚、図15は数チップ毎の領域での残膜厚を表示している。これらの結果はCMP加工中にリアルタイムで出力され、所定の残膜厚になった状態で加工終了する。図14、図15で示した計測結果は、加工されたウエハの来歴として管理する事も可能であり、計測結果をウエハに添付して次工程での加工条件などに用いると、製造工程のスループットと製品品質が向上する効果がある。

【0044】

図16は、本発明による半導体デバイスの製造方法を示す図である。本発明による半導体デバイスの製造方法においては、成膜装置152でスパタリング等によりウエハ151の表面に薄膜を形成した後、このウエハをCMP加工工程153に運ぶ。CMP加工工程153においては、加工終点検出部155で上記した実施例で説明したような方法でウエハ151の表面の膜厚管理をしながらCMP装置154を用いて膜厚を平坦に加工し、洗浄装置156で洗浄後、必要に応じて膜厚計測装置157でウエハ151の所望の箇所の膜厚を計測する。なお、この膜厚計測装置157を用いた膜厚の計測は、必ずしも全てのウエハに対して行う必要はなく、必要に応じて何枚かに1枚のウエハを抜き取って実施してもよい。CMP加工工程153を経たウエハは、露光装置工程158を経てエッチング工程159で配線加工などが行なわれ、次の工程へ運ばれる。

【0045】

本発明では、CMP加工工程における膜厚の計測をCMP加工中に実施することが出来、しかもウエハ上の位置が特定された膜厚の計測を行うことが出来るので、この膜厚の計測結果をCMP装置154のスラリー条件（材質、濃度、供給量）、パッド条件（材質、形状、ドレス、交換時期等）、研磨回転数、ウエハ支持圧力などのCMP加工条件にフィードバックすることにより、ウエハの加工面の平坦性を従来の技術に比べて大幅に向上させることができる。このようにしてCMP加工による表面の平坦性が大幅に向上したウエハを、その後の露光、エッ

チング工程において処理することにより、微細なパターンを高い信頼性で形成することができる。

また、本発明による膜厚を管理しながらCMP加工したウエハ151には、面内分布の膜厚計測結果を添付する事も出来る。この添付された計測結果を用いることにより、エッチング工程159でのエッチング条件（エッチ時間や印加電圧、ガス供給量）等を最適にコントロールして高品質な半導体ウエハ160を製造することもできる。

【0046】

【発明の効果】

本発明によればCMP工程で研磨加工中の半導体デバイスの透明膜の高精度な膜厚計測が可能となり、計測した膜厚データを基に高精度の研磨加工管理が可能となる。および研磨加工中の半導体デバイスのシリコンウエハ（基板）面内での膜厚分布を高精度に管理することが出来るようになるため、膜厚分布に基づいたCMP加工工程での平坦化加工の最適化や、成膜工程への成膜条件やエッチング工程での加工条件の最適化を図ることが出来、高精度な半導体デバイスの製造が可能となる。および、上記のシリコンウエハ上に半導体デバイスを製造する方法および製造ラインにおけるCMP工程において終点検出を高精度に行うことが可能となり、工程のスループット向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明による膜厚計測手段を備えたCMP研磨装置構成の概略構成を示す斜視図である。

【図2】

本発明による膜厚計測手段を備えたCMP研磨装置構成の具体的な一例を示す斜視図である。

【図3】

本発明による計測視野を説明するウエハを載せた研磨パッドの平面図である。

【図4】

半導体用LSI回路パターンの平面図である。

【図5】

半導体用LSI回路パターンと計測視野の詳細な一例を示す半導体用LSI回路パターンの平面図である。

【図6】

本発明による回路パターンからの分光反射特性の一例を示すグラフである。

【図7】

本発明による回路パターンからの分光スペクトル強度特性の一例を示すグラフである。

【図8】

半導体用LSIウエハの平面図である。

【図9】

半導体用LSIの透明膜の膜厚分布の一例を示す斜視図である。

【図10】

本発明による検出窓の構造の一例を示す正面図である。

【図11】

本発明による膜厚を算出する分光反射特性を示すグラフである。

【図12】

(a) 本発明による膜厚測定機能を備えたCMP加工装置の正面図、(b) 本発明によるCMP加工装置の正面図、(c) CMP加工装置のホルダの平面図である。

【図13】

本発明によるCMP加工装置の概略構成を示す正面図である。

【図14】

本発明における計測結果を表示する画面の一例を示す表示画面の正面図である

【図15】

本発明における計測結果を表示する画面の一例を示す表示画面の正面図である

【図16】

本発明によるCMP加工システムを用いて半導体デバイスを製造する工程の一例を示す工程図である。

【図17】

半導体用LSIの透明膜の膜厚分布の一例を示す半導体用LSIの斜視図である。

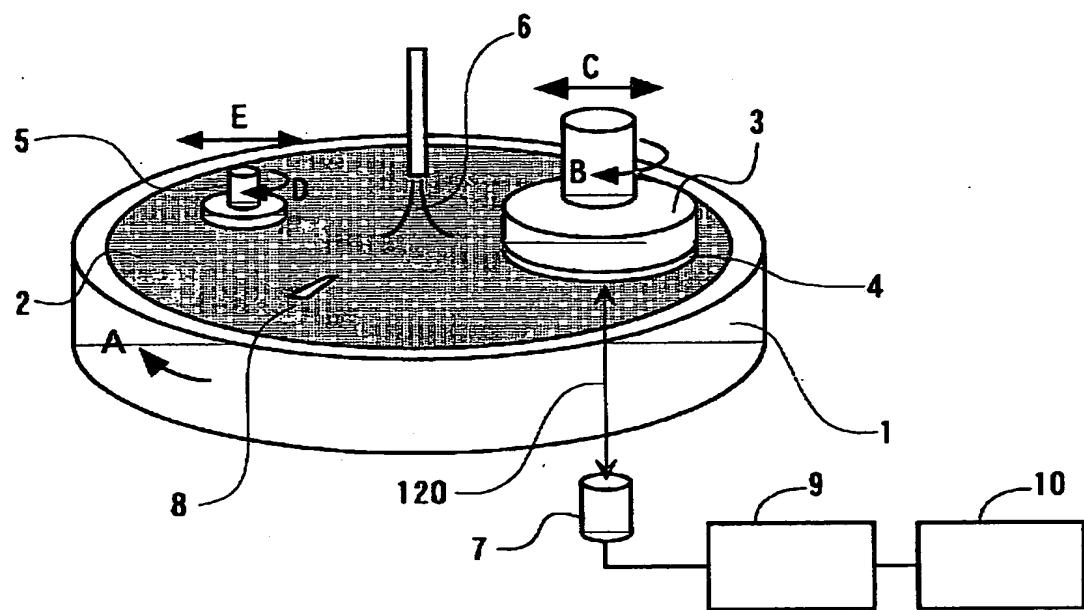
【符号の説明】

1……研磨盤 2……研磨パッド 3……ホルダ 4……ウェハ
 5……ドレッサー 6……スラリー 7……計測光学系 8……計測窓
 9……膜厚計測コントローラ 10……実パターン膜厚計測装置
 11……計測条件コントローラ 81……ウインドウガラス 71……検出レンズ
 72……照明光源 73……ハーフミラー 74……空間フィルタ 74……結像
 レンズ 76……絞りユニット 761……視野絞り 762……視野絞り 76
 3……計測視野 40……LSI回路 41……配線回路パターン部 42……メモ
 リ回路部 43……周辺回路パターン部 412……計測視野 61、62、63…
 …分光波形 82……中心チップ 83……周辺チップ 92、93……チップの
 中心領域 600……波形のトレンド成分 91、92、93……トレンド補正後の
 分光波形 101……ウインドウガラス 102……スラリー 103……純水タ
 ンク 104……配管 111……位置センサ 112……回転角検出器 113…
 …ホルダ 114……ウェハホルダ 115……ノッチセンサ 116……ノッチ
 117……プリアライメント部 113a……保持面 120……計測光軸 15
 1……ウェハ 152……成膜装置 153……CMP加工工程 154……CMP
 装置 155……加工終点検出部 156……洗浄装置 157……膜厚計測装置
 158……露光装置 159……エッティング工程 151……半導体ウェハ

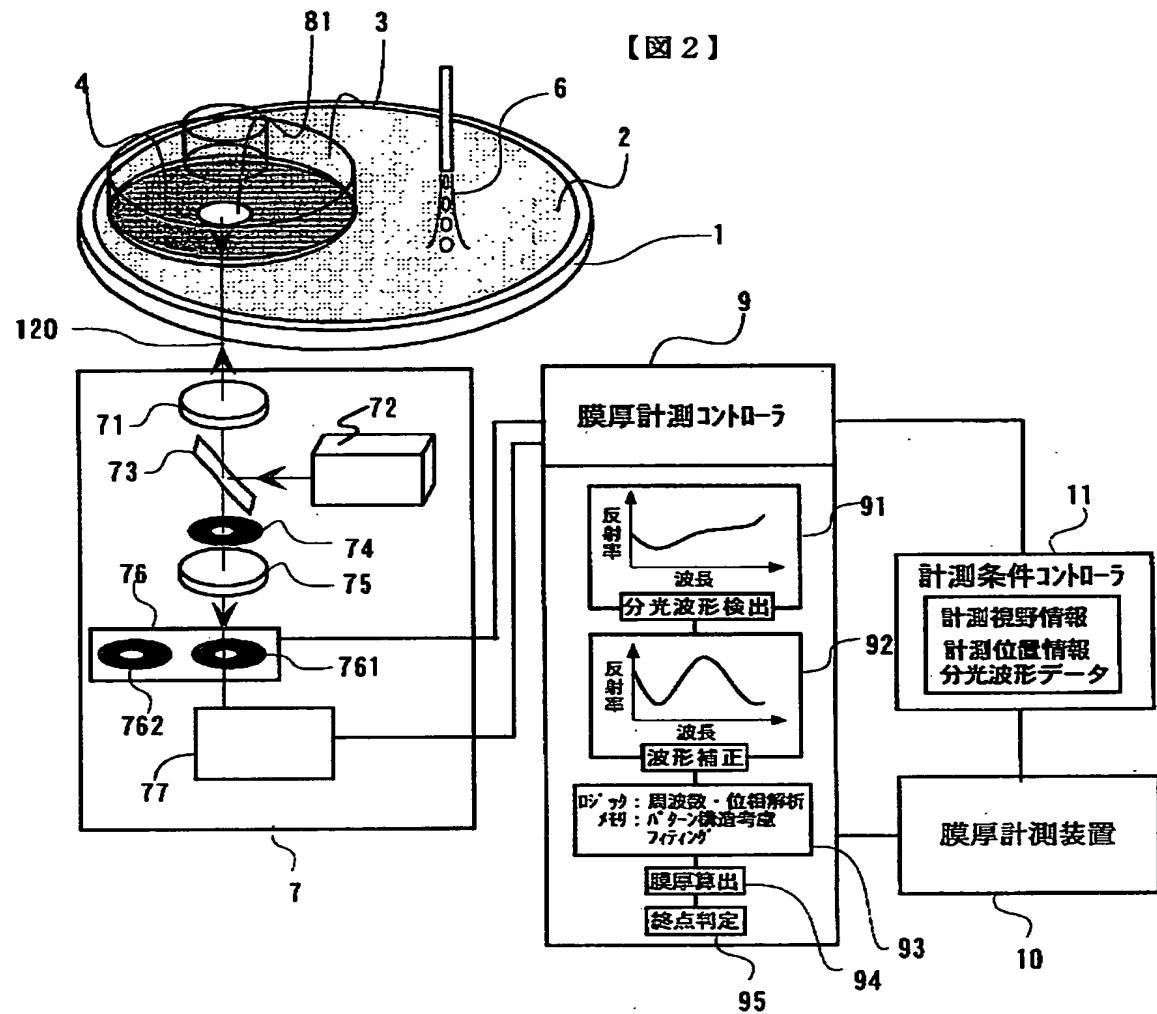
【書類名】 図面

【図1】

【図1】

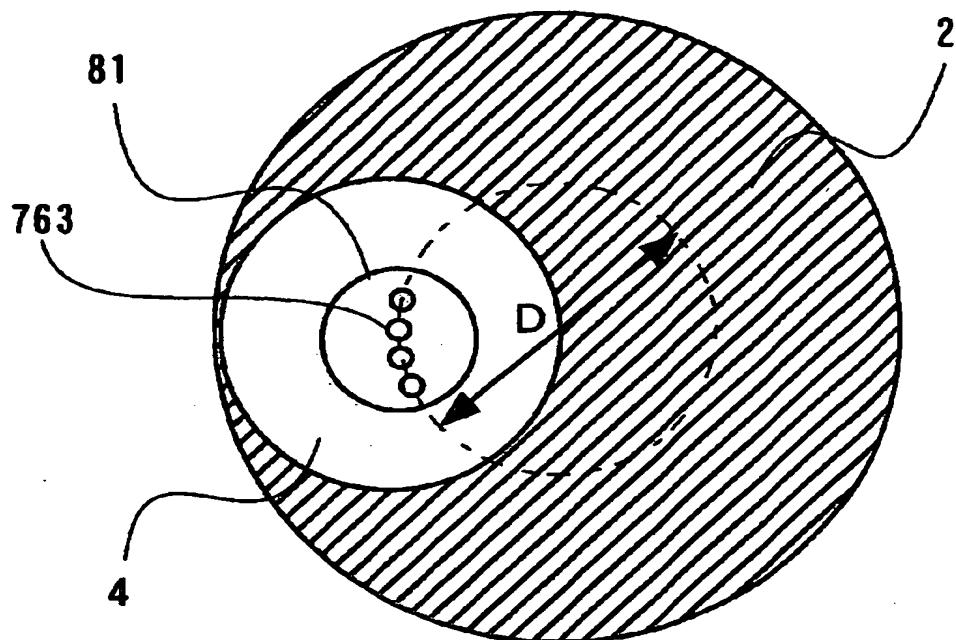


【図2】



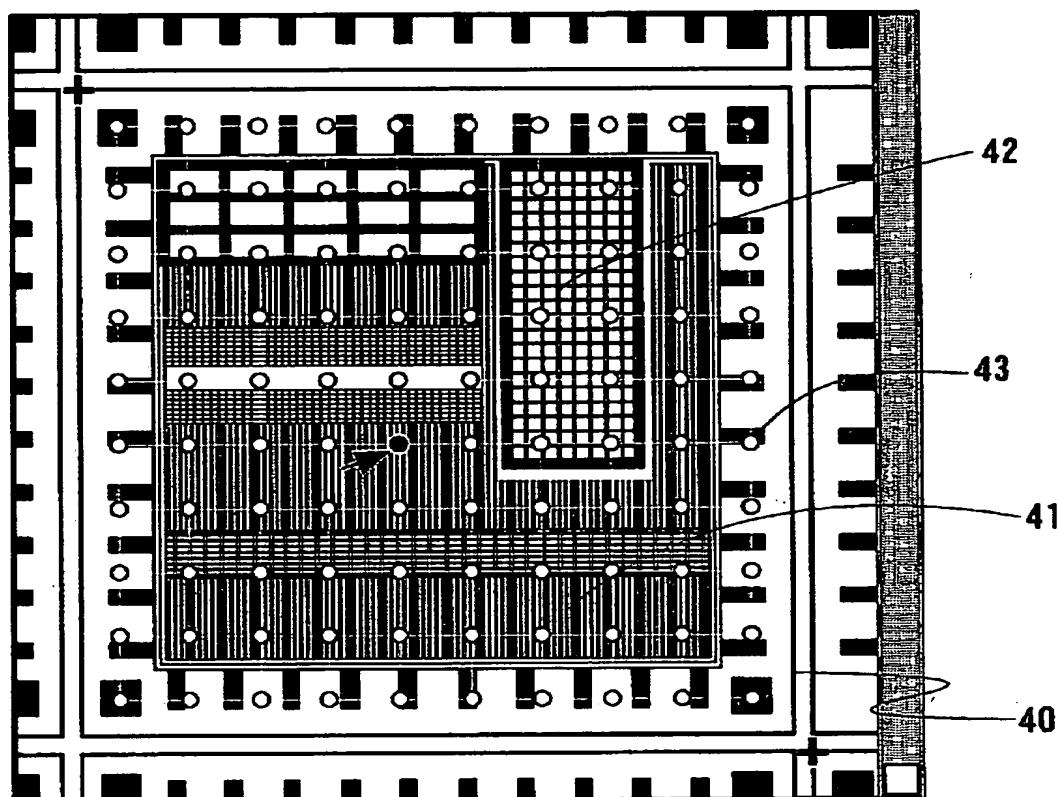
【図3】

【図3】



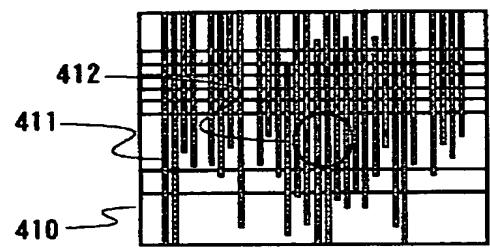
【図4】

【図4】

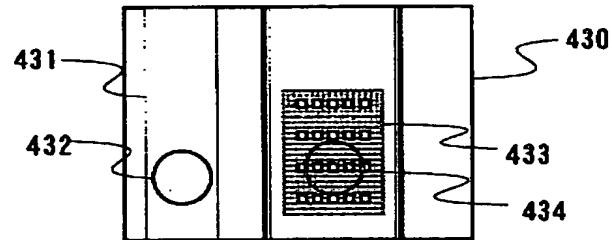


【図5】

【図5】



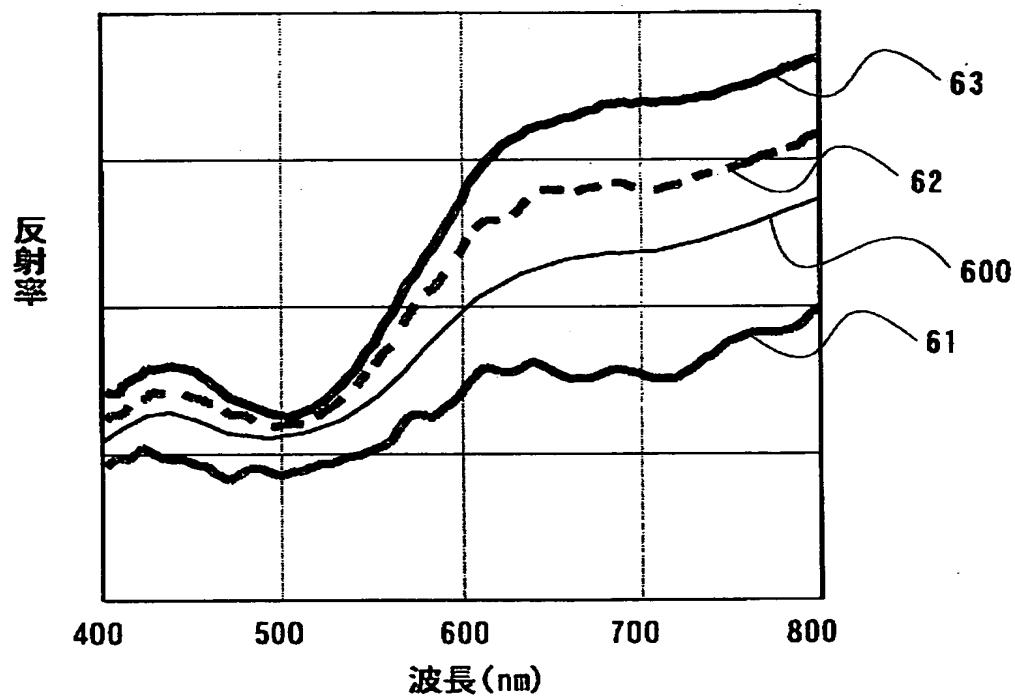
(a) 配線回路パターン部



(b) 周辺回路パターン部

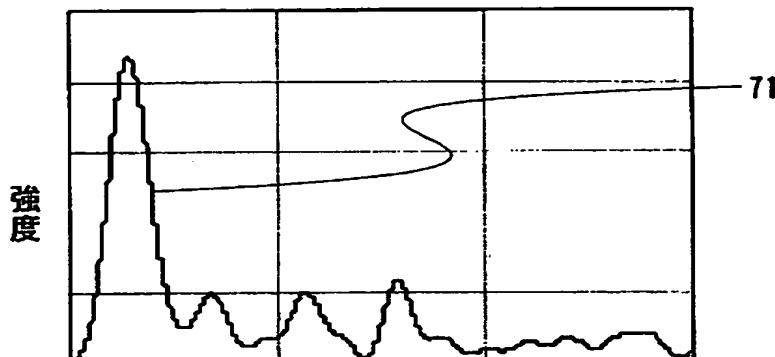
【図6】

【図6】

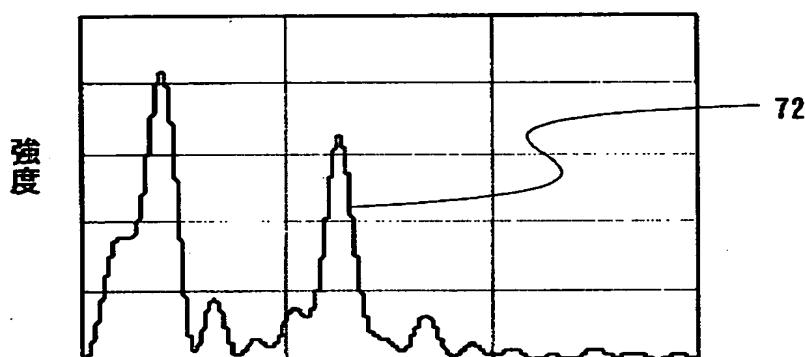


【図7】

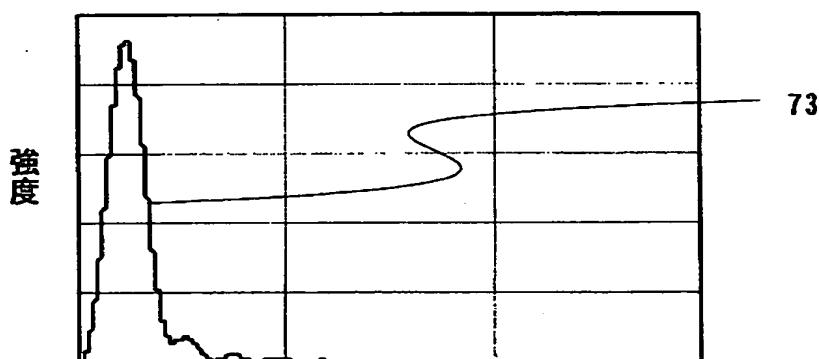
【図7】



(a) 配線回路部



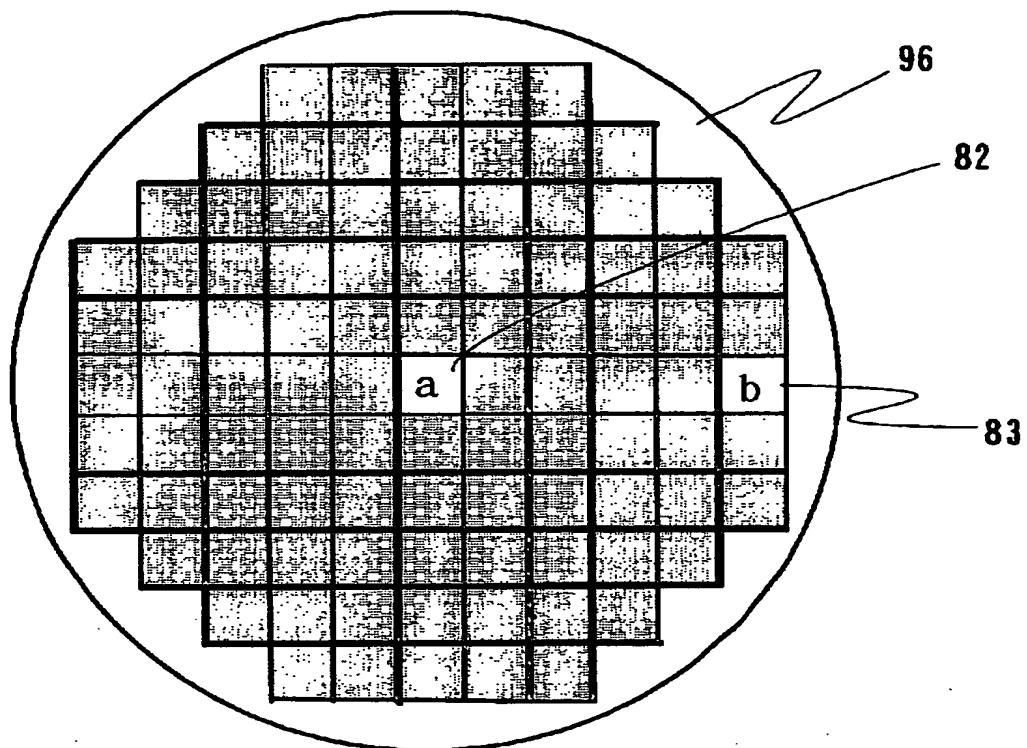
(a) メモリ回路部



(c) 周辺回路部

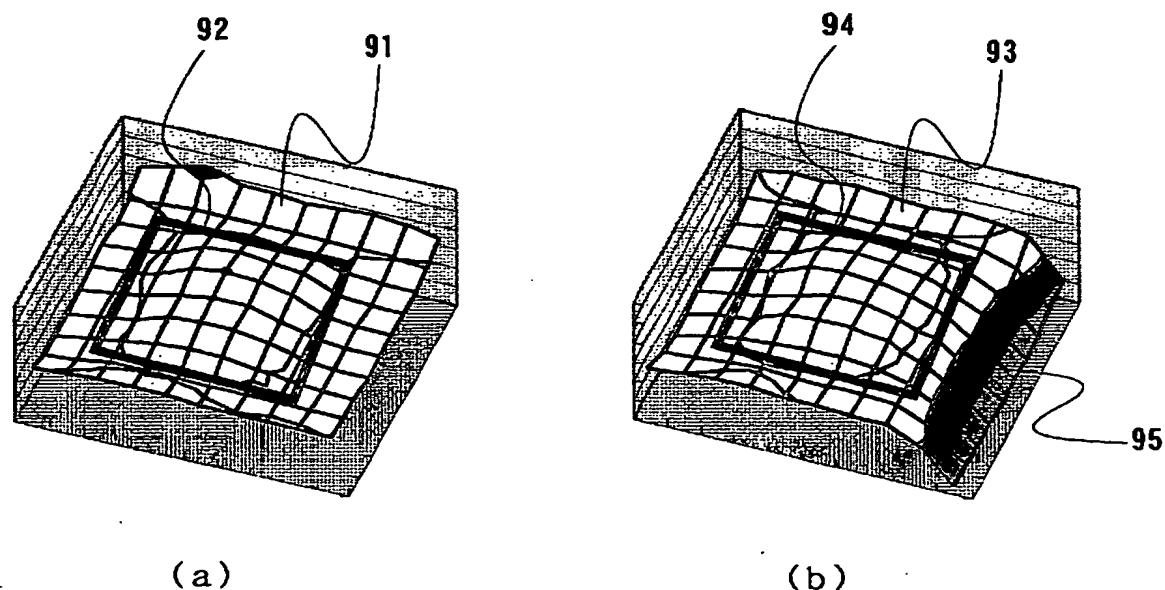
【図8】

【図8】



【図9】

【図9】

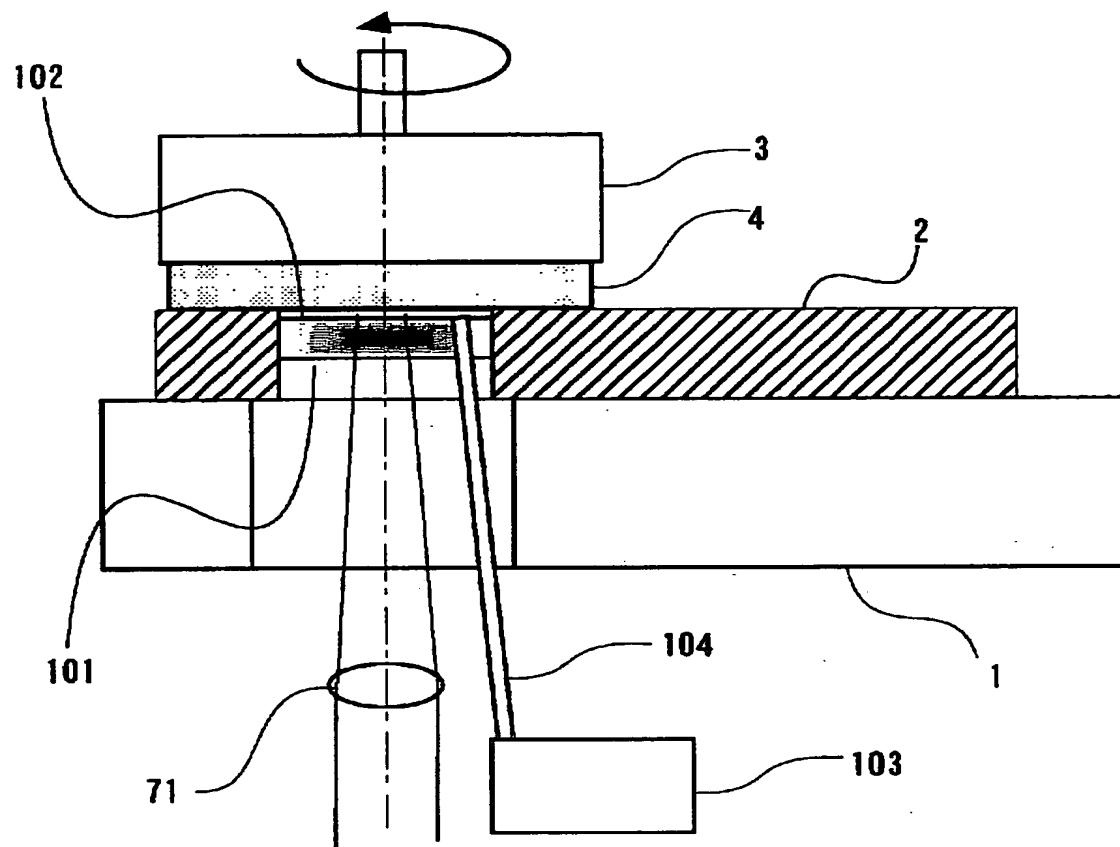


(a)

(b)

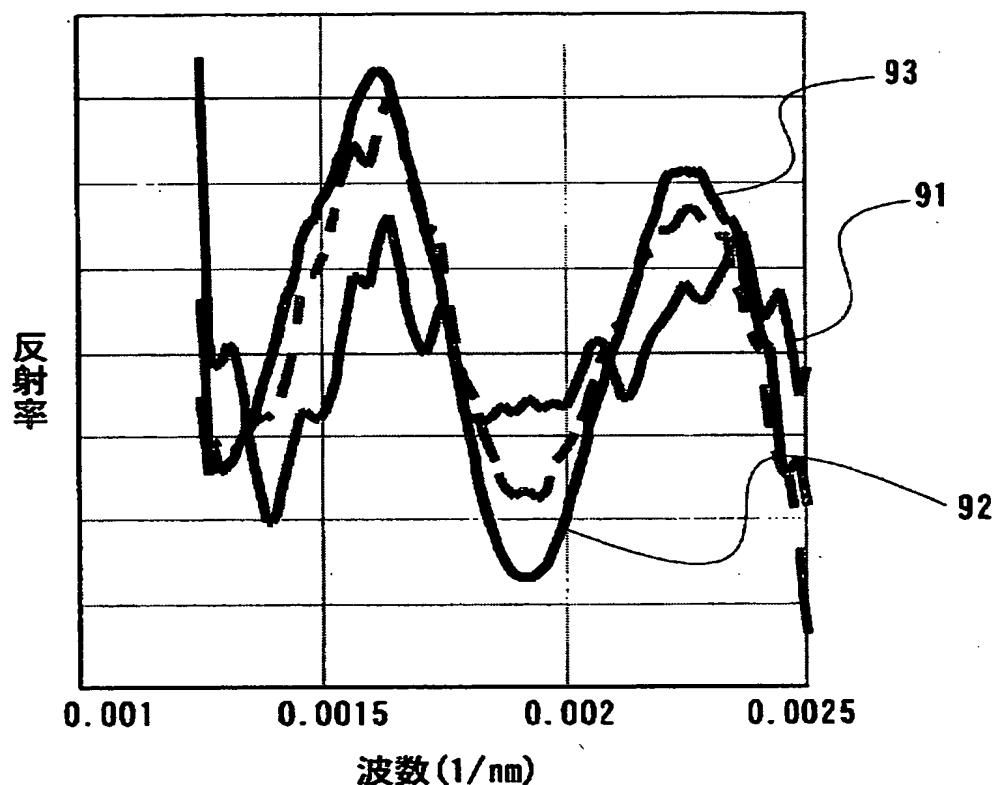
【図10】

【図10】



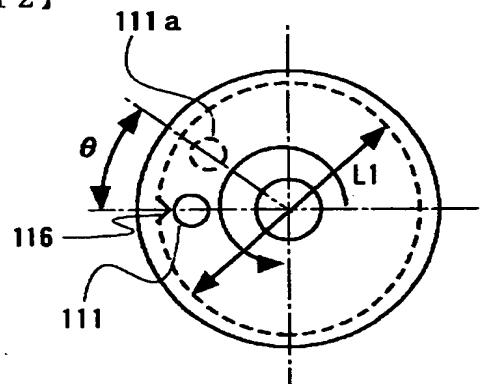
【図11】

【図11】

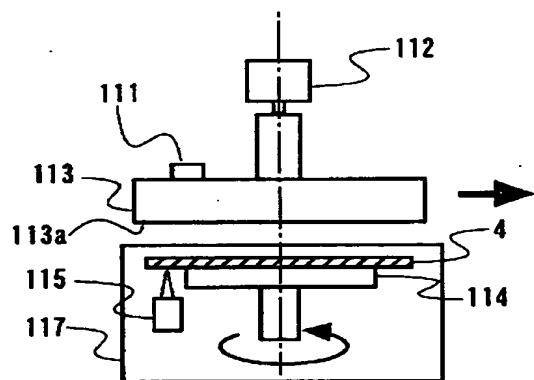


【図12】

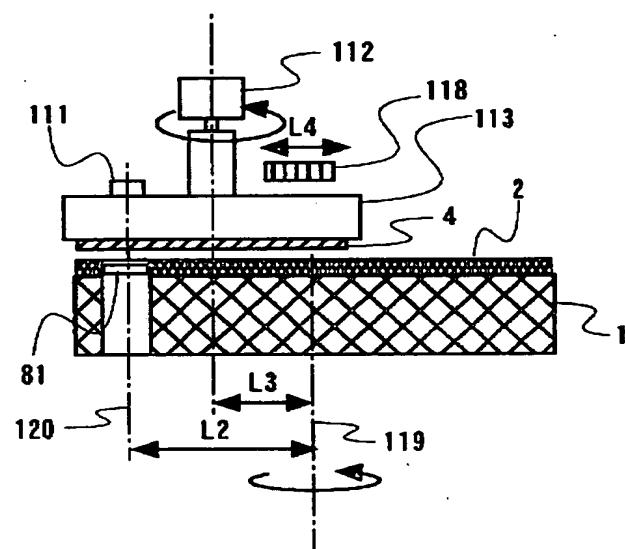
【図12】



(c)



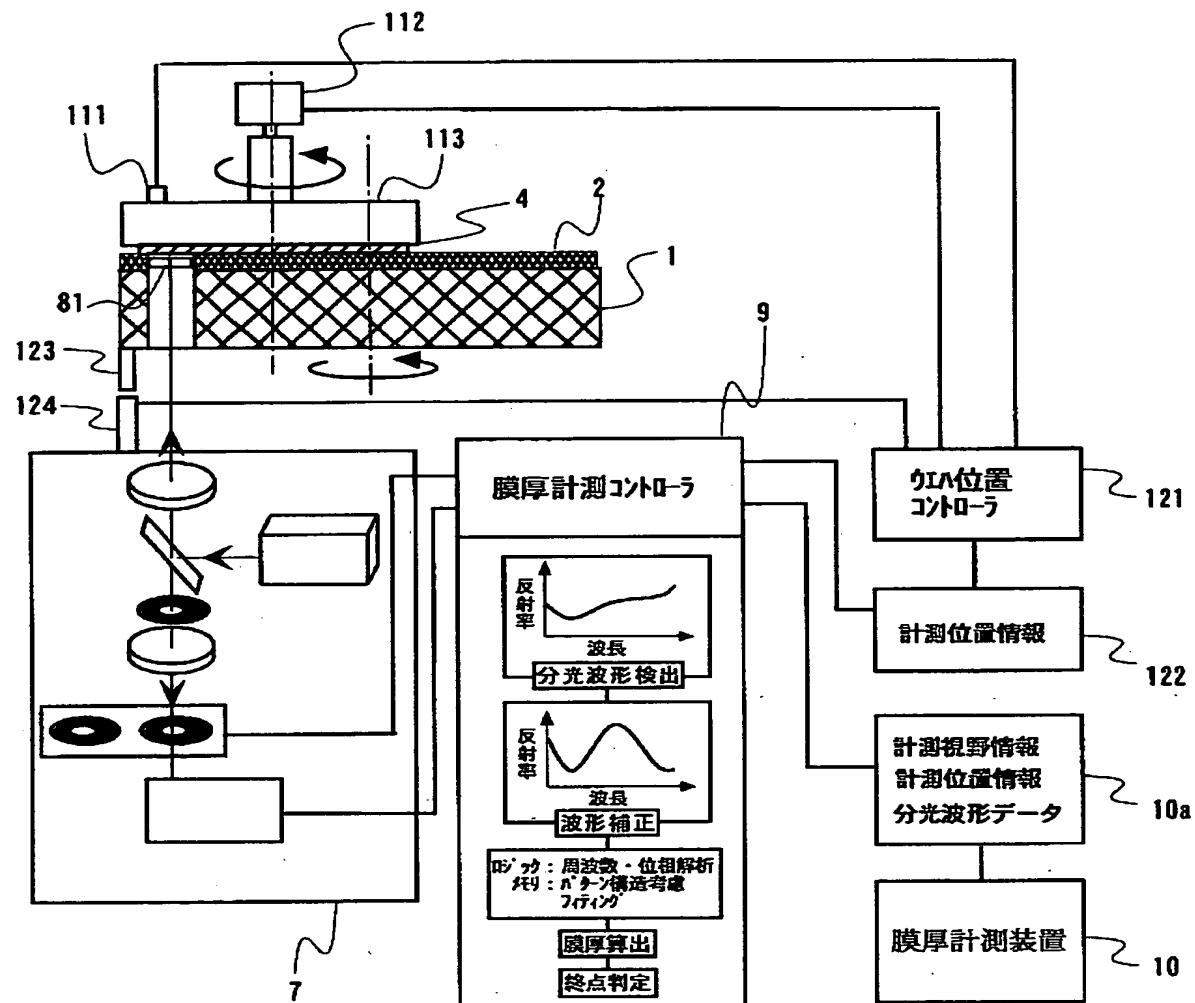
(a)



(b)

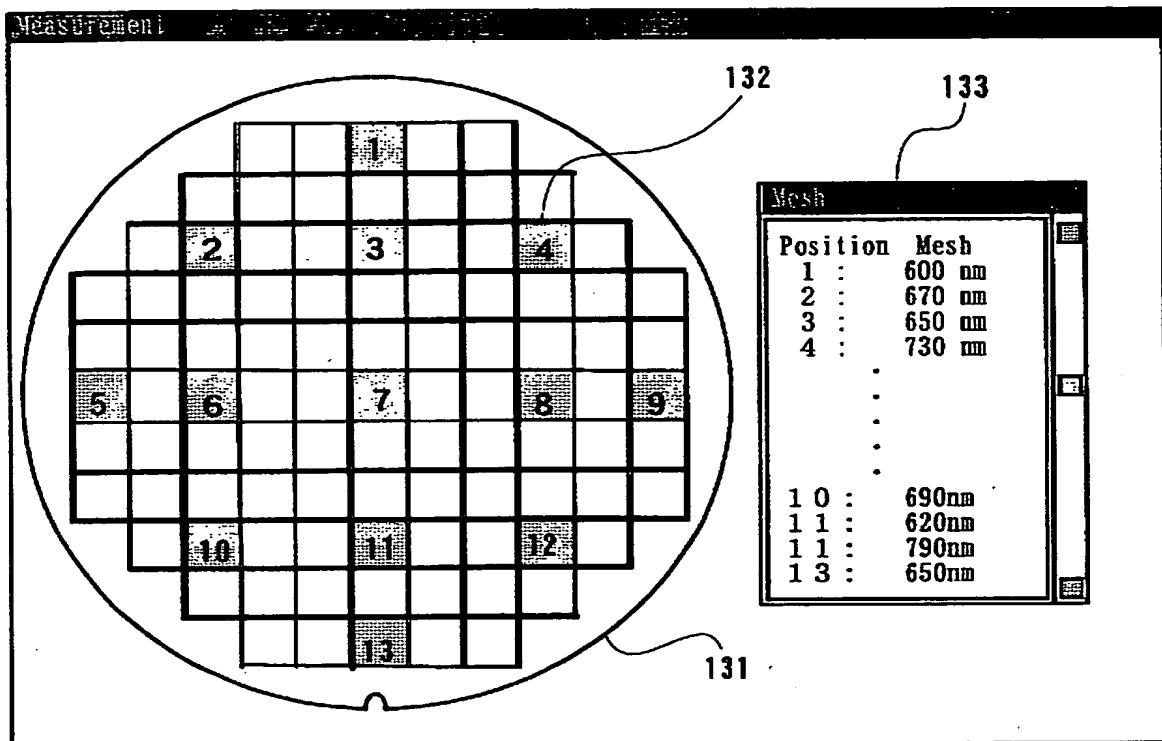
【図13】

【図13】



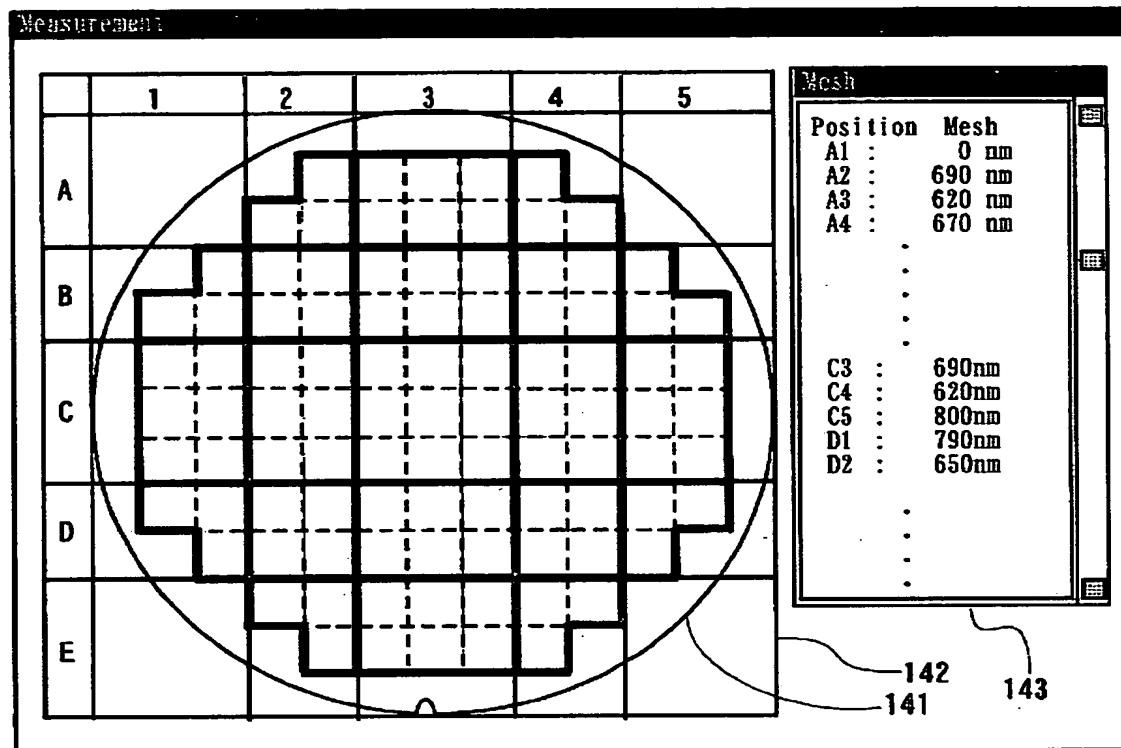
【図14】

【図14】



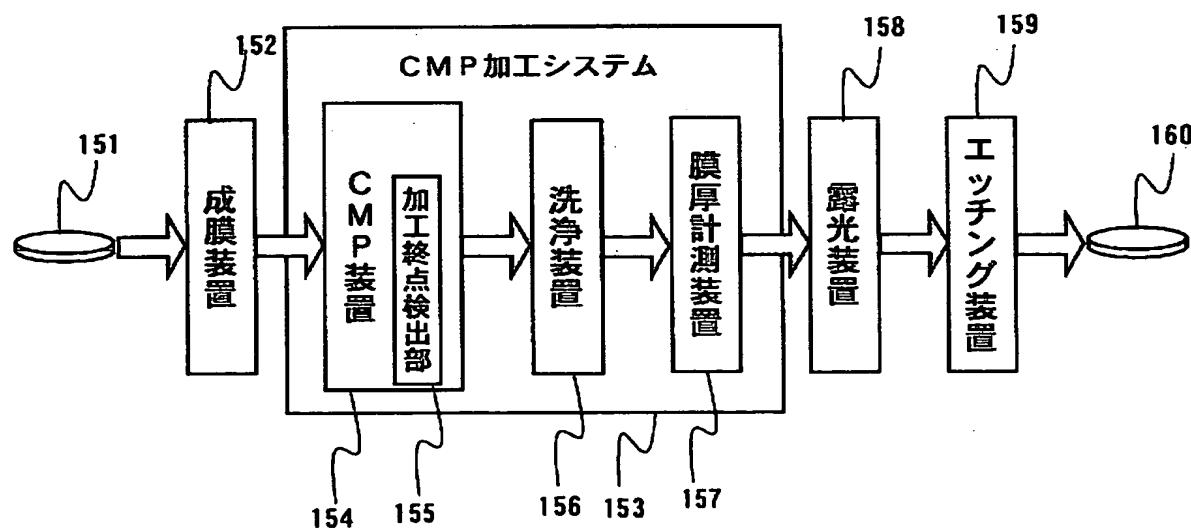
【図15】

【図15】



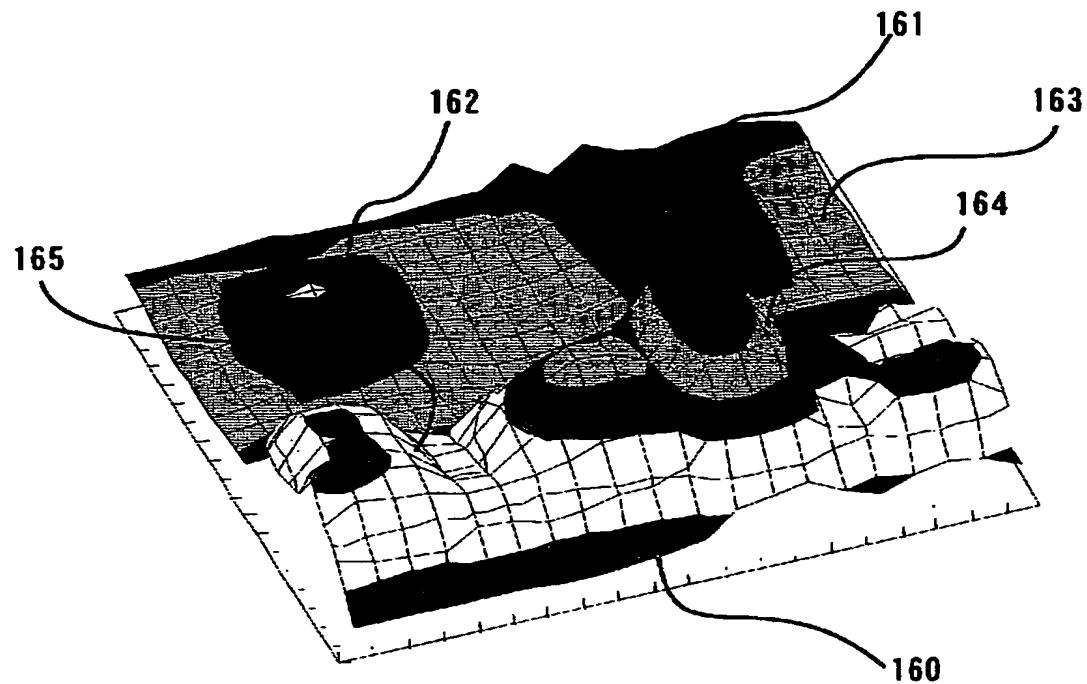
【図16】

【図16】



【図17】

【図17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

加工中の透明な膜の膜厚および膜厚分布を高精度に計測することを目的とする。その一例として CMP 加工で生じる LSI 領域や半導体ウエハ面内の膜厚分布の影響を受けることなく、CMP 加工中に高精度に最表面の膜厚を計測することにより、高精度な膜厚管理を可能にし、高精度な薄膜デバイスの製造方法及びその製造装置を提供することを目的とする。

【解決手段】

加工中の透明な膜の膜厚を計測する視野および計測位置は、CMP 加工された実際のデバイスパターンの膜厚分布の影響を受けない面積で計測する。さらに透明な膜からの分光反射光の特徴量の反射光強度、周波数スペクトル強度等から、比較的平坦な領域を特定して膜厚を計測し、高精度の膜厚管理を実現する。これにより、膜厚分布に基づいた CMP 加工工程での平坦化加工の最適化や、成膜工程への成膜条件やエッチング工程での加工条件の最適化を図ることが出来、高精度な半導体デバイスの製造を行う。

【選択図】 図 2

認定・付加情報

| | |
|---------|---------------|
| 特許出願の番号 | 特願2001-226984 |
| 受付番号 | 50101101547 |
| 書類名 | 特許願 |
| 担当官 | 第五担当上席 0094 |
| 作成日 | 平成13年 7月30日 |

＜認定情報・付加情報＞

【提出日】 平成13年 7月27日

次頁無

出願人履歴情報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名 株式会社日立製作所